

УДК 620.179.16: 620.179.17

БУССИ ЕП МИШЕЛ КАСАБЛИ САЛАМ, К. Л. НОЗДРАЧОВА, Г. М. СУЧКОВ, А. Ю. СЛОБОДЧУК**НОВИЙ БЕЗКОНТАКТНИЙ МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ МЕТАЛОВИРОБІВ**

Запропоновано новий метод ультразвукового безконтактного електромагнітно-акустичного або ємнісного контролю, який включає операції збудження і прийому пакетних зсувних ультразвукових імпульсів заданої частоти в металовиробах, фільтрацію завад в сукупності прийнятих сигналів, детектування прийнятих імпульсів, їх кореляційну обробку, обчислення спектра сумарної прийнятої реалізації, порівняння отриманого спектра зі спектром сукупності сигналів на бездефектній ділянці об'єкта контролю, прийняття рішення про наявність або відсутність дефектної ділянки. Вироби, в яких передбачається наявність дефектних ділянок відсортовуються, а остаточне рішення про якість металовиробу визначають додатково стандартними контактними методами. Ефективність розробленого методу підтверджена експериментально, при якому були застосовані ультразвукові імпульси тривалістю 5-7 періодів частоти заповнення пакетного імпульсу, частоти в діапазоні 1,5-4,5 МГц, частоти зондування до 1 кГц. Метод може бути застосований для безконтактного неруйнівного контролю (електромагнітно-акустичним або ємнісним методами) ультразвуковими пакетними імпульсами великих об'ємів металовиробів без зачистки поверхні.

Ключові слова: безконтактний ультразвуковий контроль, металовиріб, дефект, корозія, електромагнітно-акустичний, ємнісний, пакетний імпульс, прийнятий сигнал, кореляційний обробка, спектр, огибающая спектра сумарного сигналу.

БУССИ ЕП МИШЕЛ КАСАБЛИ САЛАМ, Е. Л. НОЗДРАЧЕВА, Г. М. СУЧКОВ, А. Ю. СЛОБОДЧУК**НОВЫЙ БЕСКОНТАКТНЫЙ МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ МЕТАЛЛОИЗДЕЛИЙ**

Предложен новый метод ультразвукового бесконтактного электромагнитно-акустического или емкостного контроля, который включает операции возбуждения и приема пакетных сдвиговых ультразвуковых импульсов заданной частоты в металлоизделии, фильтрацию помех в совокупности принятых сигналов, детектирование принятых импульсов, их корреляционную обработку, вычисление спектра суммарной принятой реализации, сравнение полученного спектра со спектром совокупности сигналов на бездефектном участке объекта контроля, принятие решения о наличии или отсутствии дефектного участка. Изделия, в которых предполагается наличие дефектных участков отсортировываются, а окончательное решение о качестве металлоизделия определяют дополнительно стандартными контактными методами. Эффективность разработанного метода подтверждена экспериментально, при котором были применены ультразвуковые импульсы длительностью 5-7 периодов частоты заполнения пакетного импульса, частоты в диапазоне 1,5-4,5 МГц, частоты зондирования до 1 кГц. Метод может быть применен для бесконтактного неразрушающего контроля (электромагнитно-акустическим или емкостным методами) ультразвуковыми пакетными импульсами больших объемов металлоизделий без зачистки поверхности.

Ключевые слова: бесконтактный ультразвуковой контроль, металлоизделие, дефект, коррозия, электромагнитно-акустический, емкостной, пакетный импульс, принятый сигнал, корреляционная обработка, спектр, огибающая спектра суммарного сигнала.

BUSSI EP MICHELLE CASSABLE SALAM, K. L. NOZDRACHOVA, G. M. SUCHKOV, A. YU. SLOBODCHUK**NEW NON-CONTACT METAL DEFECT DETECTION METHOD**

A new method of ultrasonic non-contact electromagnetic-acoustic or capacitive testing is proposed, which includes the operation of excitation and reception of packet shear ultrasonic pulses of a given frequency in the metal product, filtering interference in the totality of received signals, detecting received pulses, correlating them, calculating the spectrum of the total received implementation, comparing the received spectrum with the spectrum of the set of signals on the defect-free section of the object of testing, the decision on the availability or absence of a defective area. Products in which the presence of defective areas is supposed to be sorted, and the final decision on the quality of the metal product is determined additionally by standard contact methods. The effectiveness of the developed method was confirmed experimentally, in which ultrasonic pulses were applied with a duration of 5-7 periods of the filling frequency of the packet pulse, a frequency in the range of 1.5-4.5 MHz, and a sounding frequency of up to 1 kHz. The method can be applied to non-destructive testing (by electromagnetic-acoustic or capacitive methods) by ultrasonic packet pulses of large volumes of metal products without surface cleaning.

Key words: non-contact ultrasonic testing, metal products, defect, corrosion, electromagnetic-acoustic, capacitive, packet pulse, received signal, correlation processing, spectrum, envelope of the spectrum of the total signal.

Вступ. В усіх областях світової промисловості широко застосовуються ультразвукові методи вимірювань, контролю якості виробів і матеріалів, діагностики [1]. Виконують вимірювання розмірів виробів [1-2], швидкості поширення пружних хвиль різного типу [1, 3], пружних констант матеріалів [3], фізико-механічних характеристик (твердості, границі текучості і ін.) [1, 4]. При контролі якості виконують дефектоскопію [1, 5-6] і дефектометрію [1, 7], при яких виявляють внутрішні [1, 7-10] і поверхневі дефекти [1, 7-10], визначають їх місце розташування [1] форму і

розміри [1]. Застосування діагностики дає можливість розраховувати ресурс виробів і об'єктів [1, 11].

У переважній більшості випадків застосування традиційних височастотних методів ультразвукових вимірювань використовують контактний метод (із застосуванням контактної рідини, яку розміщують між п'єзоелектричним перетворювачем і об'єктом досліджень) [1]. При контролі контактним методом поверхню виробу покривають в'язкою, добре змащуючою рідиною (машинним або трансформаторним маслом, гліцериним і ін.). У разі вимірювань імерсійним і щільним способами

© Буссі Еп Мішел Касаблі Салам, К. Л. Ноздрачова, Г. М. Сучков, А. Ю. Слободчук, 2019

використовують деаеровану воду, звільнену від бульбашок повітря. Іноді в неї додають речовини (наприклад, спирт) для поліпшення змащуваності поверхні виробу і інгібітори (наприклад, азотнокислий натрій), що оберігають від корозії. При цьому необхідно захищати поверхню введення / прийому ультразвуку об'єкта від забруднень, окалини, фарби, пластикових і інших покриттів [1]. Тобто підготовка поверхні об'єкта досліджень (ОД) і значні витрати контактної рідини вимагає значних матеріальних і економічних витрат [12]. Слід зазначити, що деякі матеріали не допускають застосування контактної рідини [1].

У істотній мірі зменшити недоліки традиційних методів вимірювань можливо за рахунок застосування безконтактних способів збудження і прийому високочастотних ультразвукових імпульсів [7-10, 12] (без застосування контактної рідини), серед яких найбільш відомими є електромагнітно - акустичний [7-10] і ємнісний [13]. Електромагнітно - акустичний спосіб реалізується за рахунок застосування магнітного і електромагнітного полів [7-10, 14], а ємнісний - використовує електричні поля [13-14]. Однак, при своїх значних перевагах [15], електромагнітно - акустичний спосіб має істотний недолік, який проявляється при вимірах феромагнітних ОД, що випускаються в країні у величезних кількостях: труби, рейки, листи, заготовки та ін. Недолік обумовлений сильним притягненням електромагнітно - акустичного перетворювача до ОД, а також великими складнощами видалення налиплих на перетворювач металевих частинок і окалини.

Ємнісні перетворювачі (ЕП) не володіють недоліками ЕМА перетворювачів. Однак вважається, що вони мають недостатню чутливість.

В даний час величезна кількість виробів і обладнання експлуатується протягом довгого часу не в складних умовах. Незважаючи на широке застосування засобів захисту, ці об'єкти піддаються корозії і інших пошкоджень, як із зовнішньої, так і з внутрішньої сторони, рис. 1.

Очевидно, що багато пошкоджень такого типу виявляти складно. Крім того, як правило, необхідно проводити неруйнівний контроль великих об'ємів виробів. Потрібно застосовувати високопродуктивні методи контролю і обладнання. Отже, роботи в зазначеному напрямку є актуальними.

Метою роботи є розробка високопродуктивного недорогого методу виявлення корозійних і аналогічних уражень на прихованих поверхнях металовиробів з використанням ЕМАП або ЕП.

Розробка, дослідження та аналіз результатів. Традиційно для виявлення внутрішніх дефектів і поверхневих дефектів на протилежних збудженню поверхнях виробів застосовують короткі широкосмугові ультразвукові імпульси [1, 16], складномодульовані сигнали [1, 17] та інші. При реєстрації складних сигналів необхідно застосовувати відповідні методи обробки [18]. Устаткування для застосування згаданих розробок складне і використовує контактний метод ультразвукового контролю. У той же час спектральні методи ультразвукового контролю дають можливість з високою ймовірністю виявляти приховані дефекти металовиробів [16].



Рисунок 1 – Пошкодження на внутрішній поверхні газової труби (Харківська обл., Підприємство «Укргазвидобування»)

ЕМА і ємнісні методи мають підвищену чутливість за умови використання зондувальних пакетних радіоімпульсів [19]. Такі сигнали мають досить вузький спектр. При прямокутній обвідній зондуючого радіосигналу його спектр $Sp(\omega)$ має вигляд [20]

$$Sp(\omega) = \frac{U \cdot t}{2} \left[\frac{\sin \frac{(\omega - \omega_0)t}{2}}{\frac{(\omega - \omega_0)t}{2}} + \frac{\sin \frac{(\omega + \omega_0)t}{2}}{\frac{(\omega + \omega_0)t}{2}} \right],$$

де ω_0 - несуча частота збуджуючого сигналу;

ω - частоти сигналу;

U - амплітуда збуджуючого імпульсу;

t - тривалість зондуючого імпульсу.

Реальний пакетний імпульс, що збуджується ЕМА перетворювачем (ЕМАП), має згладжені фронти, кривизна яких залежить від багатьох випадкових факторів. Отже, спектральний склад сигналу, що збуджується може бути різний. У той же час основну частину спектру сигналу можна сформувати за рахунок збільшення тривалості імпульсу. При цьому може збільшитися «мертва зона» або неконтрольована

товщина виробу. Але в цьому випадку можна використовувати принцип накладення складових радіоімпульса один на одного. Результуючий спектр буде спотворюватися за рахунок різного часу приходу компонент сигналу на ЕМАП. Різниця приходу

складових сигналу однозначно буде відбуватися при наявності корозії і аналогічних дефектів металовиробів.

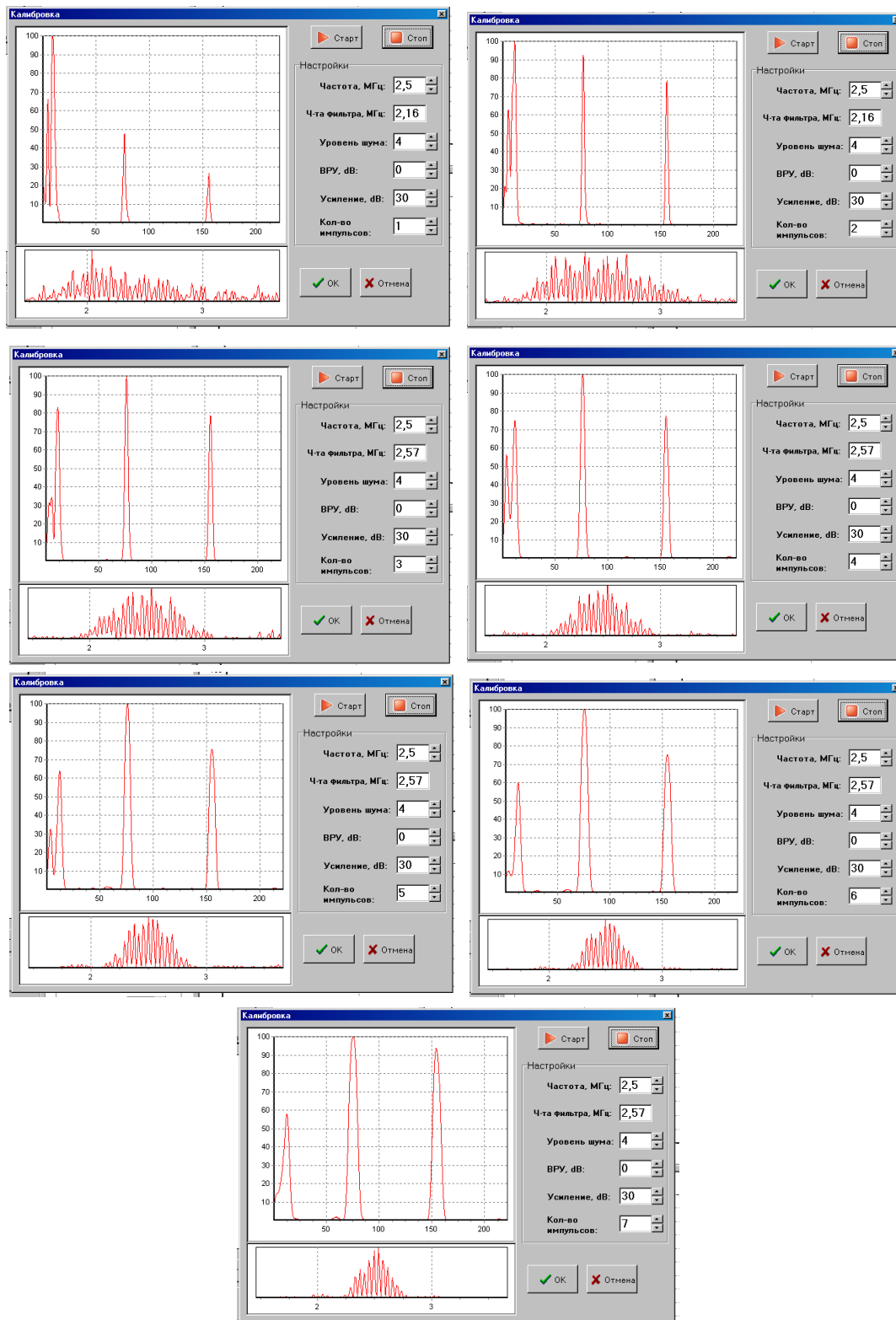


Рисунок 2 – Прийняті донні сигнали з тривалістю від 1 до 7 періодів частоти заповнення на бездефектній ділянці зразка зі сталі 09Г2С і їх спектри

Для перевірки можливості оперативного контролю використаний модернізований ультразвуковий дефектоскоп, виготовлений на основі приладу, описаного в статті [21]. Для досліджень застосовані суміщений прямий смуговий ЕМАП, описаний в роботі [22] або ЄП. Дефектоскоп дозволяє регулювати частоту ультразвукових коливань, що збуджуються в діапазоні 1 ... 5 МГц, тривалість імпульсів - у діапазоні 1 ... 10 періодів частоти заповнення пакетного імпульсу, що зондує імпульс пікового струму - до 200 А. Повітряний зазор між поверхнею металу (або товщина діелектричного покриття) і протектором ЕМА перетворювача - до 10 мм, ЄП - 0,2 мм. ЕМАП збуджувалися і приймалися імпульси зсувних лінійно поляризованих ультразвукових коливань, а ЄП - поздовжні хвилі.

Алгоритм роботи ультразвукового дефектоскопа був наступний. Збудження і прийом пакетних ультразвукових імпульсів, фільтрація прийнятих сигналів від перешкод, детектування імпульсів, кореляційна обробка і обчислення спектра результуючого сигналу. В якості базових сигналів використані донні імпульси.

Як об'єкт для досліджень використані зразки з феромагнітних сталей і алюмінієвого сплаву, в яких виконані моделі корозійних пошкоджень у вигляді свердлін на стороні, протилежній розташуванню ЕМАП, а також зразки з натуральними ушкодженнями. Зачистка зразків на поверхні введення і прийому ультразвукових імпульсів не провадилась.

Оскільки спектр зареєстрованого сигналу, згідно вищенаведеної формули, залежить від його тривалості, на першому етапі досліджені спектри донних імпульсів з метою вибору оптимальної тривалості. На рис. 2 наведені зображення донних імпульсів і їх спектри.

Аналіз експериментальних даних, наведених на рис. 2, підтверджує, що при збільшенні тривалості пакетного імпульсу спектр сигналу звужується, форма його огинаюча змінюється і стає близькою до дзвоноподібної. Це говорить про можливість використання форми обвідної для визначення наявності дефектних ділянок у виробі. Доцільно вибирати більш тривалий пакетний імпульс. На основі наведених результатів досліджень вирішено використовувати 6 ... 7 періодів частоти заповнення зонduючого сигналу.

З вищенаведеної формули також впливає залежність спектра сигналу від частоти заповнення зонduючого пакетного імпульсу. Результати експериментальних досліджень впливу частоти заповнення зонduючого імпульсу, з урахуванням смуги пропускання ЕМАП або ЄП, наведені на рис. 3.

Аналіз експериментальних даних, наведених на рис. 3 вказує, що форма обвідної спектрів в основному зберігає свій дзвоноподібний вид в діапазоні частот 2 ... 4 МГц. Незначні зміни обвідної спектрів прийнятих сигналів обумовлені нерівномірністю смуги пропускання перетворювачів, а також впливом завад.

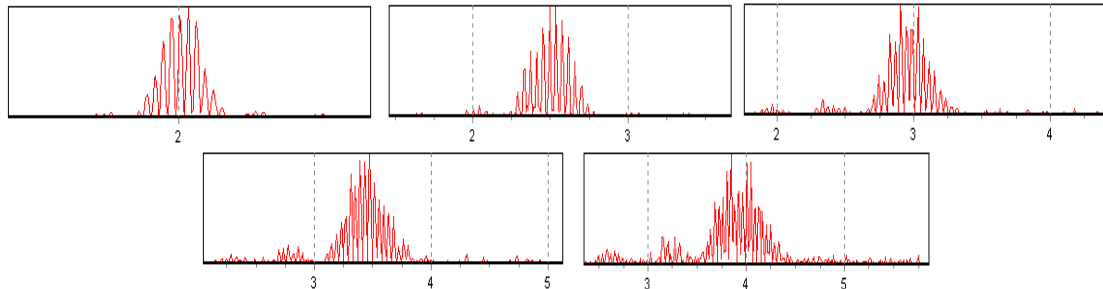


Рисунок 3 – Вплив частоти заповнення зонduючого пакетного імпульсу на огинаючу його спектра при тривалості імпульсу 7 періодів частоти заповнення (значення частот вказані на горизонтальній шкалі) на бездефектній ділянці зразка зі сталі 09Г2С

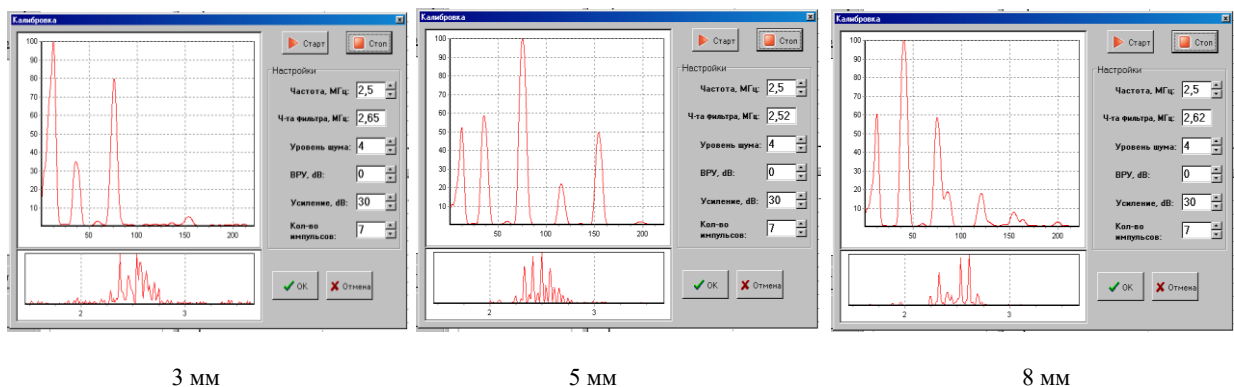


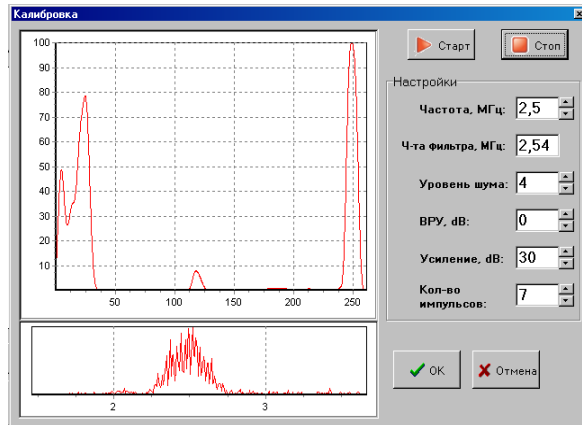
Рисунок 4 – Розгортки з імпульсами, відбитими від дна і від дефектів різного розміру і відповідні їм спектри на плоскопаралельному зразку зі сталі 09Г2С

Для перевірки припущення про суттєвий вплив наявності дефектів у вигляді корозії на донній поверхні зразка зі сталі 09Г2С були виготовлені моделі дефектів у вигляді свердлін з діаметром 3; 5 і 8 мм. Результати досліджень огинаючих спектрів прийнятих сигналів при наявності моделей дефектів різних розмірів наведені на рис. 4.

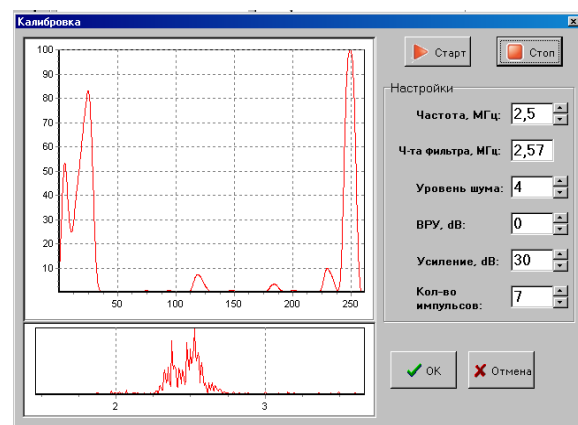
Аналогічні дані для зразка з алюмінієвого сплаву наведені на рис. 5. Використано імпульси тривалістю 7 періодів частоти заповнення рівній 2,5 МГц.

З аналізу наведених на рис. 4 і рис. 5 дані свідчать, що наявність моделей дефектів на донній поверхні зразків призводить до суттєвого спотворення обвідної спектра прийнятих сигналів.

Далі були виконані експериментальні дослідження зразків з природними дефектами на донній поверхні. На рис. 6 наведено спектри, отримані на зразку зі сталі ст.45: на бездефектній ділянці, на ділянці з плоскими тріщинами глибиною 4 мм і 8 мм.



а



б

Рисунок 5 – Розгортки з імпульсами, відбитими від дна без дефектів (а) і від дна з дефектом (б) діаметром 3 мм і відповідні їм спектри на зразку з алюмінієвого сплаву

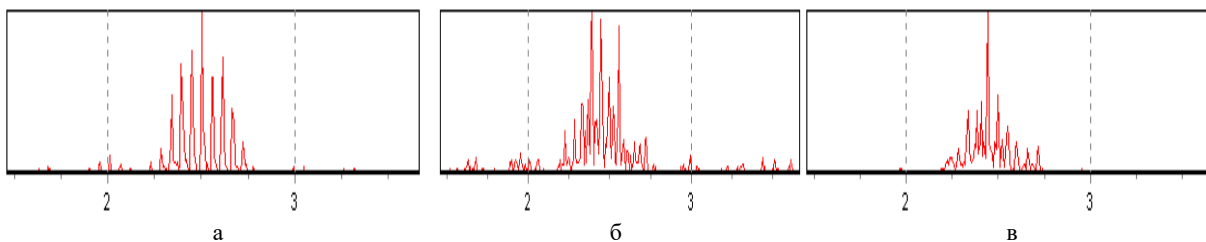


Рисунок 6 – Спектри, отримані на зразку зі сталі ст.45 на бездефектній ділянці (а), на ділянці з плоскою тріщиною на донній поверхні глибиною 4 мм (б) і на ділянці з плоскою тріщиною на донній поверхні глибиною 8 мм (в)

З аналізу наведених даних випливає, що застосування розробленого способу ультразвукового контролю дозволяє виявляти плоскі тріщини на донній поверхні металовиробів без визначення їхнього характеру і розмірів, тобто спосіб призначений для продуктивного виявлення дефектних ділянок і

подальшої ідентифікації виявлених пошкоджень традиційним методом.

Експериментальні дослідження виявлення дефектів, що мають випадкові геометричні характеристики, підтвердили ефективність запропонованого способу, рис. 7.

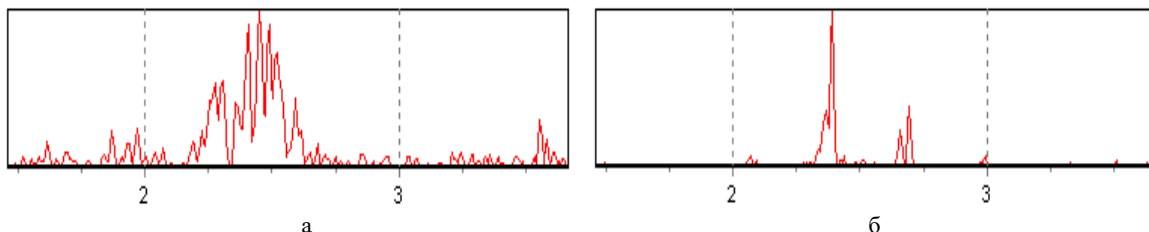


Рисунок 7 – Спектри, отримані на зразку зі сталі ст.3 з групою забоїв на донній поверхні (а) глибиною 0,5 ... 2,3 мм і з кавернами глибинами до 3 мм на донній поверхні газової труби діаметром 74 мм і товщиною 6,2 мм

Оскільки характер і розміри дефектів в запропонованому варіанті контролю не визначаються, то його можна використовувати для експрес-діагностики.

Висновки.

1. Запропоновано проводити експрес неруйнівний контроль металовиробів із застосуванням прямих смугових ЕМАП і широкосмугових ЄП, які збуджують і приймають лінійно поляризовані пакетні імпульси ультразвукових коливань з тривалістю 6 ... 7 періодів частоти заповнення сигналу шляхом аналізу форми обвідної спектра прийнятих сигналів.

2. Для реалізації розробленого способу експрес контролю необхідно виконати наступні операції: збуджувати і приймати пакетні ультразвукові імпульси, фільтрувати сукупність прийнятих сигналів від перешкод, детектувати прийняті імпульси, здійснити кореляційну обробку сигналів, обчислити спектр результуючого сигналу, визначити його відміну від спектра донних сигналів на бездефектній ділянці, прийняти рішення про наявність дефектної ділянки. Остаточне рішення про якість металовиробу визначають додатково стандартними методами.

Список літератури

1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. под общ. ред. В.В. Клюева. Т.3: Ультразвуковой контроль / И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. – М.: Машиностроение, 2004. – 864 с.
2. Куц Ю.В., Монченко О.В., Бистра І.М. та інші. Фазовий метод ультразвукової лунаїмпульсної товщинометрії виробів з конструкційних матеріалів: монографія / Ю.В. Куц, О.В. Монченко, І.М. Бистра та інші. – К.: Інтерсервіс, 2019. – 192 с.
3. Сучков Г.М. Упругие характеристики материалов // Контроль. Диагностика. – 2005. – № 7. – С. 20-24.
4. Патон Б. Е. Исследования и разработки ИЭС им. Е. О. Патона для современной энергетики / Б. Е. Патон // Техн. диагностика и неразрушающий контроль. – 2013. – № 1. – С. 3 – 11.
5. Ермолов И.Н. Достижения в теоретических вопросах ультразвуковой дефектоскопии, задачи и перспективы // Дефектоскопия. 2004. № 10. – С. 13-48.
6. Алешин Н.П. Перспективы развития ультразвуковой дефектоскопии. XX Юбилейная Петербургская конференция «УЗДМ-2009». С.-Петербург. 2009. Доклад П2.
7. Плеснецов С.Ю., Сучков Г.М., Корж А.И., Суворова М.Д. Новые теоретические исследования и разработки в области электромагнитно-акустического преобразования (обзор) // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2018. – №2. – С. 24-31.
8. Сучков Г.М., Плеснецов С.Ю., Корж А.И. и др. Новые разработки электромагнитно-акустических преобразователей. (обзор) // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2018. – №3. – С. 27-34.
9. Сучков Г.М., Плеснецов С.Ю. Чувствительность контроля электромагнитно-акустическими преобразователями (обзор, ч.1) // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2018. – №4. – С.45-50.
10. Сучков Г.М., Плеснецов С.Ю. О чувствительности ультразвукового контроля поверхностными волнами, возбуждаемыми и принимаемыми электромагнитно-акустическими преобразователями (обзор, ч.2) // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2019. – №1. – С. 47-54.
11. Бобров В.Т., Самокрутов А.А., Шевальдыкин В.Г. Состояние и тенденции развития акустических (ультразвуковых) методов, средств и технологий неразрушающего контроля и технической диагностики // Территория NDT. – 2014. – №2. – С.24-26.
12. Судакова К.В., Казюкевич И.Л. О повышении эффективности контроля качества металлургической продукции // В мире неразрушающего контроля. – 2004. – № 3. – С. 8-10.
13. Improving principles of electric energy pulse transformation into high-frequency mechanical energy using capacitive method. / O.N.

Petrishchev, K.L. Nozdrachova, G.M. Suchkov, R.P. Myhushchenko, O.Yu. Kropachek, S.Yu. Plesnetsov // Technical Electrodynamics – 2019(6), p. 18–24 DOI: <https://doi.org/10.15407/technd2019.06.018>

14. О возбуждении ультразвуковых волн в металлах емкостным преобразователем. Часть 1/ Сучков Г.М., Петрищев О.Н., Ноздрачева Е.Л., Романюк М.И. // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – Киев. – 2015 – № 1. – С. 45-50. <https://doi.org/10.15407/tdnk2015.01.05>

15. Семеренко А.В. Применение ЭМАП для контроля коррозии и эрозии паронагревателей котельных установок // Территория NDT. 2014. №1. С.42-43.

16. Соколов И.В. Разработка помехоустойчивых методов и средств multifunctionальной ультразвуковой дефектоскопии сложных структурных изделий. Автореф. докт. дис. М.: Московский энергетический институт (Технический университет). 2008. – 47 с.

17. Вісков О.В. Підвищення вірогідності та інформативності акустичного контролю трубних виробів : Автореф. канд. дис. Івано-Франківськ: Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, 2003. – 20 с.

18. Serkov A., Breslavets V., Tolkachov M., Churyumov Issam Saad G. Noise-Like Signals in Wireless Information Transmission Systems // Advanced Information Systems. No. 2. Vol. 1. – 2017, pp. 33–38.

19. Сучков Г.М., Петрищев О.Н., Хащина С.В. и др. Повышение возможностей бесконтактной дефектоскопии поверхности катаных ферромагнитных металлоизделий // Контроль. Диагностика. – 2013. – №4. – С. 31–35.

20. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высшая школа. 2000. – 463 с.

21. Сучков Г.М. Современные возможности ЭМА дефектоскопии // Дефектоскопия. – 2005. №12. – С. 24-39.

22. Мигущенко Р.П., Сучков Г.М., Радев Х.К., и др. Электромагнитно-акустический преобразователь для ультразвуковой толщинометрии ферромагнитных металлоизделий без удаления диэлектрического покрытия // Технічна електродинаміка, – 2016, – №2, – с. 78–82.

References (transliterated)

1. Nerazrushayushchiy kontrol': Spravochnik: V 7 t. pod obshch. red. V.V. Klyuyeva. T.3: Ul'trazvukovoy kontrol' / I.N. Yermolov, YU.V. Lange. – Moscow : Mashinostroyeniye, 2004. – 864 p.
2. Kuts YU.V., Monchenko O.V., Bistra I.M. ta inshi. Fazovyy metod ul'trazvukovoy voyenno-tekhnikeskoy ekspertizy: monografiya / YU.V. Kuts, O.V. Monchenko, I.M. Bistra ta inshi / Kyiv .: Interservis, 2019. – 192 p.
3. Suchkov G.M. Uprugiy kharakteristiki materialov // Kontrol'. Diagnostika. – 2005. – No 7. – P. 20-24.
4. Paton B. Ye. Issledovaniya i razrabotki IES im. Ye. O. Patona dlya so-energii Ye. Paton // Tekhn. diagnostika i nerazrushayushchiy kontrol'. – 2013. – No 1. – P. 3 – 11
5. Yermolov I.N. Dostizheniya v teoreticheskikh voprosakh ul'trazvukovoy defektoskopii, zadachi i perspektivy // Defektoskopiya. 2004. No 10. – P. 13-48.
6. Alekhin N.P. Perspektivy razvitiya ul'trazvukovoy defektoskopii. XX Yubileynaya Peterburgskaya konferentsiya «UZDM-2009». St. Petersburg. 2009. Doklad P2.
7. Plesnetsov S.YU., Suchkov G.M., Korzh A.I., Suvorova M.D. Novyye teoreticheskiye issledovaniya i razrabotki v oblasti elektromagnitno-akusticheskogo preobrazovaniya (obzor) // Tekhnicheskaya diagnostika i nerazrushayushchiy kontrol'. – 2018. – No2. – P. 24-31.
8. Suchkov G.M., Plesnetsov S.YU., Korzh A.I. i dr. Novyye razrabotki elektro-magnitno-akusticheskikh preobrazovateley. (obzor) // Tekhnicheskaya diagnostika i nerazru-shayushchiy kontrol'. – 2018. – No3. – P. 27-34.
9. Suchkov G.M., Plesnetsov S.YU. Chuvstvitel'nost' kontrolya elektromagnitno-akusticheskikh preobrazovateley (obzor, ch.1) // Tekhnicheskaya diagnostika i nerazrusha-yushchiy kontrol'. – 2018. – No4. – P.45-50.
10. Suchkov G.M., Plesnetsov S.YU. Analiz chuvstvitel'nosti ul'trazvukovogo kontrolya poverkhnostnykh volnami, izluchayushchiye i primimayushchiye elektromagnitno-akusticheskkiye preobrazovately (obzor, ch.2) // Tekhnicheskaya diagnostika i nerazrusha-yushchiy kontrol'. – 2019. – No1. – P. 47-54.

11. Bobrov V.T., Samokrutov A.A., Shevaldykin V.G. Sostoyaniye i tendentsii razvitiya akusticheskikh (ul'trazvukovykh) metodov, sredstv i tekhnologiy nerazrushayushchego kontrolya i tekhnicheskoy diagnostiki // Territoriya nerazrushayushchego kontrolya. - 2014. - No2. - P.24-26.

12. Sudakova K.V., Kazyukevich I.L. O povyshenii effektivnosti kontrolya kachestva metallurgicheskoy produktii // V mire nerazrushayushchego kontrolya. - 2004. - No 3. - P. 8-10.

13. Sovershenstvovaniye printsipov preobrazovaniya impul'sov elektricheskoy energii v vysokochastotnyuyu mekhanicheskuyu energiyu yemkostnym metodom. / O.N. Petrishchev, K.L. Nozdrachova, G.M. Suchkov, R.P. Mikhushchenko, O.YU. Kropachek, S.YU. Plesnetsov // Tekhnicheskaya elektrodinamika - 2019 (6), P. 18-24 DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2019.06.018>

14. O vzbuzhdenii ul'trazvukovykh voln v metalle yemkostnym preobrazovatelem. Chast' 1 / Suchkov G.M., Petrishchev O.N., Nozdracheva Ye.L., Romanyuk M.I. // Tekhnicheskaya diagnostika i nerazrushayushchiy kontrol'. - Kiyev. - 2015 - No 1. - P. 45-50. <https://doi.org/10.15407/tdnk2015.01.05>

15. Semerenko A.V. Primeneniye EMAP dlya kontrolya korrozii i erozii paronagrevateley kotel'nykh ustanovok // Territoriya NDT. 2014. No1. P.42-43.

16. Sokolov I.V. Razrabotka pomekhoustoychivyykh metodov i sredstv mnogofunktsional'noy ul'trazvukovoy defektoskopii slozhnostrukturnykh izdeliy. Avtoref. dokt. dis. Moscow: Moskovskiy energeticheskii institut (Tekhnicheskiiy universitet). 2008. -47 p.

17. Viskov O.V. Pedvishenni virogidnosti ta informativnosti akusticheskogo kontrolya trubchatykh virobiv: Avtoref. kand. dis. Ivano Frankivsk: Ivano-Frankivskiy natsional'niy tekhnichniy universitet nafti i gazu, 2003. - 20 p.

18. Serkov A., Breslavets V., Tolkachov M., Churyumov Issam Saad G. Shumopodobnyye signaly v besprovodnykh sistemakh peredachi informatsii // Sovremennyye informatsionnyye sistemy. No 2. Tom. 1. - 2017, P. 33-38.

19. Suchkov G.M., Petrishchev O.N., Khashchina S.V. i dr. Povysheniye vozmozhnykh beskontaktnykh defektoskopiy poverkhnosti katanykh ferromagnitnykh metalloizdeliy // Kontrol'. Diagnostika. -2013. -No4. -P. 31-35.

20. Baskakov S.I. Radiotekhnicheskiye tsepi i signaly. - Moscow: Vysshaya shko-la. 2000.- 463 s.

21. Suchkov G.M. Sovremennyye vozmozhnosti EMA defektoskopii // Defektoskopiya. - 2005. No12. - P. 24-39.

22. Migushchenko R.P., Suchkov G.M., Radev KH.K., i dr. Elektromagnitno-akusticheskiiy preobrazovatel' dlya ul'trazvukovoy tolshchinometrii ferromagnitnykh metalloizdeliy bez udaleniya dielektricheskogo pokrytiya // Tekhnichna yelektrodinamika, - 2016, - No2, - P. 78-82.

Надійшло (received) 18.08.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Буссі ЕП Мішел Кассаблі Салам (Бусси ЕП Мишел Кассабли Салам, Bussi EP Michelle Cassable Salam), аспірант кафедри комп'ютерних та радіоелектронних систем контролю та діагностики, НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна; e-mail: hpi.suchkov@gmail.com

Ноздрачова Катерина Леонідівна (Ноздрачева Екатерина Леонидовна, Nozdrachova Katerina Leonidivna) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних та радіоелектронних систем контролю та діагностики, НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна, ORCID ID: 0000-0002-1996-2301, e-mail: nozdrachova@gmail.com

Сучков Григорій Михайлович (Сучков Григорий Михайлович, Suchkov Grigoriy Mihaylovich) – завідувач кафедри комп'ютерних та радіоелектронних систем контролю та діагностики, НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна, ORCID ID: 0000-0002-1805-0466 e-mail: hpi.suchkov@gmail.com

Слободчук Антон Юрійович (Слободчук Антон Юрьевич, Slobodchuk Anton Yuryvich) – аспірант кафедри комп'ютерних та радіоелектронних систем контролю та діагностики, НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна, ORCID ID: 0000-0002-4498-9688 e-mail: antonslobodchuk@gmail.com